

Evaluation of different levels of integral silage of sweet potato (*Ipomoea batatas*) as energetic source for growing cattle

Evaluación de diferentes niveles de ensilaje integral de camote (*Ipomoea batatas*) como fuente energética para bovinos en crecimiento

C. Solís¹ and M. H. Ruiloba²

¹Vice-Rectoría de Investigación y Postgrado, Universidad de Panamá, República de Panamá

²Grupo de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, GRUCITED, República de Panamá

Email: carlostomas_21@hotmail.com

In order to evaluate different levels of integral sweet potato silage, as energy source for growing cattle, four substitution levels of ground maize grain by silage on dry basis (0, 33, 75 and 100 %) in iso-energetic rations (10.8 MJ ME kg⁻¹, dry matter) and iso-protein (12.1 % crude protein, dry basis) were studied. A completely randomized design with factorial arrangement (4 x 2) and four animals per treatment was used. There was no effect of the substitution on live weight gain: 1.467, 1.351, 1.430 and 1.345 kg animal d⁻¹ for 0, 33, 75 and 100% substitution (P ≥ 0.05). The dry matter intake decreased from 2.70 to 2.28 kg DM/100 kg live weight d⁻¹ when increasing the substitution level from 0 to 100%. This affected the crude protein and metabolizable energy intake. The apparent digestibility of the dry matter decreased with the substitution (P ≤ 0.0127, 74.92, 69.83, 70.67 and 70.36%), which reduced the metabolizable energy intake (30.46 to 24.39 MJ/100 kg of live weight d⁻¹). The substitution level did not affect feed conversion (P > 0.05, 5.74 kg DM / kg live weight gain), but linearly decreased the feeding cost. It is concluded that the integral sweet potato silage did not affect the live weight gain and feed conversion, and decreased by 46 % the feeding cost, when replacing 100% of the ground corn kernel.

Key words: *sweet potato silage, substitution level, kernel maize, weight gain, feeding cost*

In general, the concentrates for cattle and other commercial species include maize and other traditional resources as energy sources, whose availability and prices compromise their use in many countries, as they require their importation. This condition has aroused interest in non-traditional alternative sources. The sweet potato (*Ipomoea batatas*) seems to be an alternative, because is a crop that adapts to a great variety of tropical edaphoclimatic conditions, allowing several production cycles per year (Gómez 2003). The tuber of this crop is characterized as a food resource of high yield and energy value. It has high starch content on dry basis (71.5 %) and sugars (5.1 - 14.0 %), but is low in crude fiber (2.2 - 5.4 %) and crude protein (4.9 %). In contrast, foliage is high in CP (18.6 - 22.8 %), crude fiber (19.2 - 26.5 %) and ashes (8.7 - 19.6 %) (González-Araujo and Tepper 2003 and Gómez 2003).

In a nutritional study of Rendon *et al.* (2013) ruminal degradability from 29.7 to 66.8%, on a dry basis was

Para evaluar diferentes niveles de ensilaje integral de camote, como fuente energética para bovinos en crecimiento, se estudiaron cuatro niveles de sustitución del grano de maíz molido por ensilaje sobre base seca (0, 33, 75 y 100 %) en raciones iso-energéticas (10.8 MJ EM kg⁻¹, materia seca) e iso-proteicas (12.1 % proteína bruta, base seca). Se utilizó un diseño completamente al azar, con arreglo factorial (4 x 2) y cuatro animales por tratamiento. No hubo efecto de la sustitución en la ganancia de peso vivo: 1.467, 1.351, 1.430 y 1.345 kg animal d⁻¹ para 0, 33, 75 y 100 % de sustitución (P ≥ 0.05). El consumo de materia seca disminuyó de 2.70 a 2.28 kg de MS/100 kg de peso vivo d⁻¹ al aumentar el nivel de sustitución de 0 a 100 %. Esto afectó el consumo de proteína bruta y energía metabolizable. La digestibilidad aparente de la materia seca disminuyó con la sustitución (P ≤ 0.0127; 74.92, 69.83, 70.67 y 70.36 %), lo que redujo el consumo de energía metabolizable (30.46 a 24.39 MJ/100 kg de peso vivo d⁻¹). El nivel de sustitución no afectó la conversión alimentaria (P > 0.05; 5.74 kg MS/kg de aumento de peso vivo), pero disminuyó linealmente el costo de alimentación. Se concluye que el ensilaje integral de camote no afectó la ganancia de peso vivo y conversión alimentaria, y disminuyó hasta en 46.0 % el costo de alimentación, al sustituir 100 % del grano de maíz molido.

Palabras clave: *Ensilaje de camote, nivel de sustitución, grano de maíz, ganancia de peso, costo de alimentación*

En general, los concentrados para bovinos y otras especies comerciales incluyen maíz y otros recursos tradicionales como fuentes energéticas, cuya disponibilidad y precios comprometen su uso en muchos países, ya que requieren de su importación. Esta condicionante ha despertado el interés en fuentes alternas no tradicionales. El camote o boniato (*Ipomoea batatas*) parece ser una alternativa, ya que es un cultivo que se adapta a una gran variedad de condiciones edafoclimáticas tropicales, lo que le permite varios ciclos de producción al año (Gómez 2003). El tubérculo de este cultivo se caracteriza por ser un recurso alimentario de alto rendimiento y valor energético. Posee alto contenido de almidón en base seca (71.5 %) y azúcares (5.1 - 14.0 %), pero es bajo en fibra cruda (2.2 - 5.4 %) y proteína bruta (4.9 %). En cambio, el follaje es alto en PB (18.6 - 22.8 %), fibra cruda (19.2 - 26.5 %) y cenizas (8.7 - 19.6 %) (González-Araujo y Tepper 2003 y Gómez 2003).

En un estudio nutricional de Rendon *et al.* (2013) se informó degradabilidad ruminal de 29.7 a 66.8 %, en

reported, for the integral sweet potato silage (tuber and foliage), when incubated between 6 and 72 h, very similar values to that of maize silage. *In vitro* digestibility figures of 92.0 % for tuber and 62.0 and 72.0 % for foliage were recorded (Backer *et al.* 1980 and Ruiz *et al.* 1981). It was also recognized that integral sweet potato silage has (Sánchez 1996 and Quezada 2001) adequate organoleptic and fermentative characteristics. However, more information is needed on its use in ruminants.

In accordance with the need to find maize substitutes and other import energy sources, and when knowing the agronomic and nutritional characteristics of the sweet potato, this study intends to evaluate different levels of integral sweet potato silage as an energy source to substitute the maize grain in rations for growing cattle.

Materials and Methods

Study location. The study was carried out at the Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí (CEIACHI), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, located at 8° 22'14" north latitude and 82° 21'44" west longitude, at 25 m o.s.l, in the tropical climate zone of savanna, with annual average temperature of 27.4 °C, rainfall of 2545 mm and relative humidity of 75 %.

Sweet potato production. The CIP-14 sweet potato variety was used, with the production technology recommended by the Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, IDIAP (Ruíz *et al.* 2009) and sowing density of 33,000 plants ha⁻¹. The plot was harvested at 135 d after sowing. First the foliage was manually harvested and then, the tuber was extracted with a furrow opener. To measure the biomass yield and the tuber-foliage ratio of the crop, random sampling (33) was performed using the sampling frame technique. The tuber and foliage of each sample was weighed. A separate sample from both fractions was taken and then a composite sample of each fraction was made. From each, a sample was taken to determine the dry matter content in a forced air oven at 65 °C for 48 hours. The ensiling material was left in the field for a period of 36 to 48 h for a solar pre-drying of the foliage. Later, both fractions were collected and chopped simultaneously with a maize harvester, with the purpose of constituting an integral material (tuber + foliage), with an average particle size of 2.0 - 3.0 cm for foliage and 1.0 cm for the tuber. The silo-press technique was used, which consists of pressing the chopped material into a plastic bag with a mechanical compactor coupled to a tractor. The silo was opened at 70 d after its manufacture.

Design and experimental procedure. In a completely random experimental design and factorial arrangement (4 x 2), four substitution levels of ground maize grain by integral sweet potato silage (SL): 0.0, 33.0, 75.0 and 100.0 % (T0, T33, T75 and T100,

base seca, para el ensilaje integral de camote (tubérculo y follaje), al incubarlo entre 6 y 72 h, valores muy similares al ensilaje de maíz. Se registraron cifras de digestibilidad *in vitro* de 92.0 % para el tubérculo y 62.0 y 72.0 % para el follaje (Backer *et al.* 1980 y Ruiz *et al.* 1981). Se reconoció además, que el ensilaje integral de camote posee (Sánchez 1996 y Quezada 2001) adecuadas características organolépticas y fermentativas. Sin embargo, se requiere más información sobre su utilización en rumiantes.

Ante la necesidad de encontrar sustitutos del maíz y otras fuentes energéticas de importación, y al conocer las características agronómicas y nutricionales del camote, este estudio pretende evaluar diferentes niveles de ensilaje integral de camote, como fuente energética para sustituir el grano de maíz en raciones para bovinos en crecimiento.

Materiales y Métodos

Localización del trabajo. El trabajo se realizó en el Centro de Enseñanza e Investigaciones Agropecuarias de Chiriquí (CEIACHI), Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, localizado a los 8°22'14" de latitud norte y 82°21'44" longitud oeste, a 25 msnm, en la zona climática tropical de sabana, con promedio anual de temperatura de 27.4 °C, precipitación pluvial de 2545 mm y humedad relativa de 75 %.

Producción del camote. Se utilizó la variedad de camote CIP-14, con la tecnología de producción recomendada por el Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá, IDIAP (Ruíz *et al.* 2009) y densidad de siembra de 33.000 plantas ha⁻¹. La parcela se cosechó a los 135 d después de la siembra. Primero el follaje se cosechó manualmente, y luego el tubérculo se extrajo con un surcador. Para medir el rendimiento de biomasa y la proporción tubérculo-follaje del cultivo, se realizaron muestreos al azar (33) con la técnica del marco muestral. El tubérculo y follaje de cada muestreo se pesaron individualmente. Se tomó una muestra separada de ambas fracciones, y luego se elaboró una muestra compuesta de cada fracción. De cada una se tomó una muestra para la determinación del contenido de materia seca en una estufa de aire forzado a 65 °C, durante 48 h.

El material para ensilar se dejó en campo por un período de 36 a 48 h para un pre-secado solar del follaje. Posteriormente, ambas fracciones se recogieron y picaron simultáneamente con una segadora de maíz, con el propósito de constituir un material integral (tubérculo + follaje), con tamaño promedio de partícula de 2.0 - 3.0 cm para el follaje y 1.0 cm para el tubérculo. Se empleó la técnica de silo-prensa, que consiste en introducir a presión el material picado en una bolsa plástica con compactadora mecánica acoplada a un tractor. El silo se abrió a los 70 d después de su confección.

Diseño y procedimiento experimental. En un diseño experimental completamente al azar y arreglo factorial (4 x 2), se estudiaron cuatro niveles de sustitución del grano de maíz molido por ensilaje integral de camote

respectively) on dry basis, and two experimental periods (EP): 1 and 2, as a consequence of possible changes in the animal response were studied. The study started in the dry season and ended in the rainy season. The evaluated diets were iso-energetic (10.8 MJ ME/kg of DM) and iso-protein (12.1 % of CP). The neutral detergent fiber (NDF) content of the diets was between 33.1 and 38.2 % on a dry basis. The diets were formulated with ground maize (*Zea mays*), chopped swazi hay (*Digitaria swazilandensis*), soybean meal (*Glicine max*), African palm coquito meal (*Elaeis guineensis*), urea and mineral salt (table 1), for which a ME content of 3.2, 1.8 was considered (NRC 1996), 2.8 (NRC 1984), 2.9 (Vargas and Zumbado 2003), 0.0 and 0.0 MJ / kg DM, respectively. Based on the chemical composition, was given to the integral sweet potato silage a ME value similar to that of maize silage (10.4 MJ/kg DM), and based on the contribution the maize grain was replaced by integral sweet potato silage. In order to achieve the iso-energetic and iso-protein condition, the maize kernel and swazi hay were gradually replaced by integral sweet potato silage and coquito cake, and the urea level in the diets was increased. For each SL, a dry supplement was prepared with ground maize, soybean cake, coquito cake, mineral salt and urea, according to the composition showed in table 1. This supplement was mixed in the feeder with hay and/or silage to constitute a ration that was offered to the animal, at a rate of 2.6 kg DM/100 kg live weight/d, in equal parts, twice a day (8:00 a.m. and 2:00 p.m.). In addition, 5 mg/d of sodium lasalocid was supplied to each animal in the morning ration and water *ad libitum*.

Male Brahman and Simbra animals were used, with weight and average initial age of 257.6

(NE): 0.0, 33.0, 75.0 y 100.0 % (T0, T33, T75 y T100; respectivamente) en base seca, y dos períodos experimentales (PER): 1 y 2, como consecuencia de posibles cambios en la respuesta animal. El trabajo se inició en la época seca y terminó en la lluviosa. Las dietas evaluadas fueron iso-energéticas (10.8 MJ EM/kg de MS) e iso-proteicas (12.1% de PB). El contenido de fibra detergente neutro (FDN) de las dietas estuvo entre 33.1 y 38.2 % en base seca. Las dietas se formularon con grano de maíz molido (*Zea mays*), heno picado de swazi (*Digitaria swazilandensis*), harina de soya (*Glicine max*), harina de coquito de palma africana (*Elaeis guineensis*), urea y sal mineral (tabla 1), para lo que se consideró un contenido de EM de 3.2, 1.8 (NRC 1996), 2.8 (NRC 1984), 2.9 (Vargas y Zumbado 2003), 0.0 y 0.0 MJ/kg MS, respectivamente. Sobre la base de la composición química, se le dio al ensilaje integral de camote un valor de EM similar al del ensilaje de maíz (10.4 MJ/Kg MS), y sobre la base del aporte se sustituyó el grano de maíz por ensilaje integral de camote. Para lograr la condición iso-energética e iso-proteica, se sustituyó gradualmente el grano de maíz y heno de swazi por ensilaje integral de camote y torta de coquito, y se incrementó el nivel de urea en las dietas. Para cada NE se preparó un suplemento seco con maíz molido, torta de soya, torta de coquito, sal mineral y urea, de acuerdo con la composición establecida en el tabla 1. Este suplemento se mezcló en el comedero con el heno y/o ensilaje para constituir una ración que se le ofreció al animal, a razón de 2.6 kg MS/100 kg de peso vivo/d, en partes iguales, dos veces al día (8:00 am y 2:00 pm). Además, cada animal recibió 5 mg/d de lasalócido sódico en la ración de la mañana y agua a libre consumo.

Table 1. Experimental diets, dry basis

Ingredients	Diet composition /substitution level , % dry basis			
	T0	T33	T75	T100
Ground maize	55.0	36.7	12.3	0.0
Swazi hay	33.7	27.6	9.3	3.4
Soybean cake	10.0	10.0	10.0	10.0
Integral sweet potato silage	0.0	19.2	59.8	72.8
Coquito cake	0.0	5.0	7.0	12.0
Mineral salt	0.5	0.5	0.5	0.5
Urea	0.8	1.0	1.1	1.3
Total	100.0	100.0	100.0	100.0
	Bromatological composition of the diet , dry basis			
CP, %	12.0	12.0	12.1	12.2
ME, MJ - kg ⁻¹	11.1	11.0	10.7	10.7
NDF, %	32.3	37.1	39.1	41.6

(± 17.18) kg and 17.0 months of age. Four animals (AN) were randomized by treatment. In order to define the incorporation of each animal into the study, its parasitic and anemic state was registered,

Se utilizaron animales machos Brahman y Simbra, con peso y edad inicial promedio de 257.6 (± 17.18) kg y 17.0 meses de edad. Se distribuyeron al azar cuatro animales (AN) por tratamiento. Para definir la

for which the McMaster technique (Lapage 1956) was used. The Wiener Lab colorimetric method of cyanometa-hemoglobin was used to know the values of hemoglobin in blood. Also, a vitamin complex at the rate of 2 mL per 100 kg live weight (Vitamin A; 3,000,000 IU, Vitamin D2; 1,000,000 IU; Vitamin E; 1,000,000 IU mL⁻¹) was applied and they were wormed with Ivermectin (1.0 mL 50 kg⁻¹ live weight). The animals were individually allocated in covered pens of 7.0 m², with cement floor. The study lasted 78 d, with the inclusion of an initial adaptation period of 18 d and two experimental periods (EP) of 30 d each. The food intake and *in vivo* digestibility of diets were determined in the last seven days of each of these stages. The *in vivo* digestibility was determined by the indigestible acid detergent fiber (IADF) method as an internal marker (Cochran *et al.* 1986), with a 12 d rumen incubation period (Nousiainen *et al.* 2004). Daily, the quantity offered and the rejection of each of the ration components (7:00 am) were measured. A sample of each of these was taken for laboratory analysis. For feces sampling, each pen was washed at 7:00 and 1:00 p.m., and each animal was subjected to supervision until it was defecated. Later, samples were taken to avoid contamination with urine and food. Each day two samples were taken for seven consecutive days, one in the morning and one in the afternoon. Samples of the dried ration components were stored at room temperature and those from the silage offered, rejection material and feces at -30°C. Subsequently, composite samples of each ingredient of the ration (supplement, hay and silage) were prepared. With the supplement and hay, a sample composed of SL and experimental period was formed, while with the silage offered and feces composite samples were prepared on fresh basis per animal and experimental period and were dried at 65 °C for 48 hours.

Samples of the rejected food were defrosted, dried at 65°C for 48 hours and ground to prepare a sample composed of animal and experimental period. The dry samples were ground to 1.0 mm particle size and residual DM (105 °C), CP (AOAC2016), NDF, ADF and IADF (Goering and van Soest 1970) were determined. To the fresh sweet potato silage was also determined the pH by extraction in distilled water and measurement in a (Tanabe 2000) potentiometer. The apparent digestibility of DM (ADDM) was calculated using the formula described by Lascano *et al.* (1990):

ADDM (%) = (1 - CMF/CMH) x 100, where:

CFM is the concentration in the food marker (%)

CMF is the concentration of the marker in the feces (%) on dry basis

The animals were weighed individually at the beginning and end of each period, at 8:00 a.m., in fasting, using a digital balance.

Evaluation parameters. There were evaluated the

incorporación de cada animal al estudio, se registró su estado parasitario y anémico. Para saber el estado parasitario, se utilizó la técnica de McMaster (Lapage 1956). Para conocer los valores de hemoglobina en sangre se aplicó el método colorimétrico de Wiener Lab de la cianometa-hemoglobina. Además, se aplicó un complejo vitamínico a razón de 2 mL por cada 100 kg de peso vivo (Vitamina A; 3,000.000 U.I., Vitamina D2; 1,000.000 U.I., Vitamina E; 1,000.000 U.I. mL⁻¹) y se desparasitaron con Ivermectina (1.0 mL 50 kg⁻¹ de peso vivo). Los animales se confinaron individualmente en corrales techados de 7.0 m², con piso de cemento. El estudio tuvo una duración de 78 d, con la inclusión de un período inicial de adaptación de 18 d y dos períodos experimentales (PER), de 30 d cada uno. El consumo de alimento y la digestibilidad *in vivo* de las dietas se determinó en los últimos siete días de cada una de estas etapas. La digestibilidad *in vivo* se determinó con el método de la fibra detergente ácido (FDA) indigestible (FDAI) como marcador interno (Cochran *et al.* 1986), con un período de incubación en el rumen de 12 d (Nousiainen *et al.* 2004). Diariamente, se midió la cantidad ofrecida y el rechazo de cada uno de los componentes de la ración (7:00 am) y se tomó una muestra de cada uno de estos para análisis de laboratorio. Para el muestreo de heces, cada corral se lavó a las 7:00 am y 1:00 pm y se sometió cada animal a supervisión hasta que defecó. Inmediatamente después, se tomaron muestras para evitar su contaminación con orina y alimento. Cada día se tomaron dos muestras durante siete días consecutivos, una en la mañana y otra en la tarde. Las muestras de los componentes secos de la ración se guardaron a temperatura ambiente y las del ensilaje ofrecido, material de rechazo y heces, a -30 °C. Posteriormente, se prepararon muestras compuestas de cada ingrediente de la ración (suplemento, heno y ensilaje). Con el suplemento y heno, se conformó una muestra compuesta por NE y período experimental, mientras que con el ensilaje ofrecido y las heces se prepararon muestras compuestas en base fresca por animal y período experimental y se secaron a 65 °C durante 48 h.

Las muestras del alimento rechazado se descongelaron, se secaron a 65 °C durante 48 h y se molieron para preparar una muestra compuesta por animal y periodo experimental. Las muestras en estado seco se molieron hasta alcanzar tamaño de partícula de 1.0 mm y se les determinó MS residual (105°C), PB (Latimer 2016), FDN, FDA y FDAI (Goering y van Soest 1970). Al ensilaje integral de camote fresco también se le determinó el pH por extracción en agua destilada y medición en un potenciómetro (Tanabe 2000). La digestibilidad aparente de la MS (DAMS) se calculó mediante la fórmula descrita por Lascano *et al.* (1990):

DAMS (%) = (1 - CMF/CMH) x 100, donde:

CMF es la concentración del marcador en el alimento (%)

CMH es la concentración del marcador en las heces (%) en base seca

Los animales se pesaron al inicio y final de cada período de forma individual, a las 8:00 am, en ayuna,

productive and economic parameters of live weight gain (LWG), DM intake (DMI), CP intake (CPI), apparent digestibility of DM (ADDM), digestible nutrients intake [$DNI = DMI(ADDM)/100$], digestible energy intake ($DEI = 4.409DNI$), metabolizable energy intake ($MEI = 0.82DEI$), feed conversion efficiency of DM (FCE), conversion efficiency of CP (CECP), conversion efficiency of the metabolizable energy (CEME) and feeding cost (FC), in US dollars (\$). The ME concentration of the integral sweet potato silage was obtained by the difference between the MEI and the contribution of the maize grain, soybean cake, coquito cake and swazi hay to this intake and by the division of the difference by the DMC of the silage.

For the estimation of the FC, the DMI was used. The production cost of the integral sweet potato silage was determined and local market prices were used for the other ration ingredients (0.504, 0.520, 0.250, 0.710, 0.420, 0.060 and 4.00 \$ kg⁻¹ DM for ground maize, soybean cake, coquito cake, mineralized salt, urea, Swazi hay and sodium lasalocid, respectively). The production cost of the integral sweet potato silage was obtained based on input records, agronomic biomass yields and estimation of the useful silage (visually fit silage for intake) offered to the animal.

Statistical analysis. Each independent variable was subjected to previous normality analysis using the Shapiro-Wilk test (López *et al.* 2000) and subsequently to a covariance analysis with the initial live weight corresponding to each experimental period as covariate. When there were differences ($P < 0.050$), Tukey's mean comparison test was used (Steel and Torrie 1980).

Results and Discussion

The agronomic yield of tuber, foliage and whole material (tuber-foliage) of sweet potato was 32.5, 27.5 and 60.0 t fresh / ha, with a DM content of 31.3, 14.5 and 25.7 %, respectively. The latter increased after pre-drying to 33.0, 32.2 and 32.6 %, respectively. For a good silage, Demanet (2011) recommends a DM content of the material to be ensiled between 28.0 and 35.0 %, since at a higher level of 25.0 %, the effluent loss is reduced. The integral sweet potato silage had a pH of 3.67 (± 0.205), light chocolate and adequate DM content (34.98 %), but low CP content (4.8 %, dry basis), despite the tuber / foliage ratio of the harvested material was 2.0/1.0, on a dry basis, and usually the CP content of these components is approximately to 4.9 (Gómez 2003) and 12.0% (Backer 1976) on dry basis, respectively. However, leaves loss of foliage during pre-drying was observed in this study. It is known that losses of N and other nutrients occur in the fermentation process, besides silage effluents (Reyes *et al.* 2009 and Guerrero-López 2013). With the use of the micro silage technique, Alvarado-Villalobos (2015) reported a mean pH of 4.0 and CP of 8.3 % for integral sweet potato

con balanza digital.

Parámetros de evaluación. Se evaluaron los parámetros productivos y económicos ganancia de peso vivo (GPV), consumo de MS (CMS), consumo de PB (CPB), digestibilidad aparente de la MS (DAMS), consumo de nutrientes digeribles [$CND = CMS(DAMS)/100$], consumo de energía digestible ($CED = 4.409CND$), consumo de energía metabolizable ($CEM = 0.82CED$), eficiencia de conversión alimentaria de la MS (ECA), eficiencia de conversión de la PB (ECPB), eficiencia de conversión de la energía metabolizable (ECEM) y costo de alimentación (CAL), en dolar USA (\$). La concentración de EM del ensilaje integral de camote se obtuvo por diferencia entre el CEM y el aporte del grano de maíz, torta de soya, torta de coquito y heno de swazi a este consumo y por la división de la diferencia por el CMS del ensilaje.

Para la estimación del CAL, se usó el CMS. Se determinó el costo de producción del ensilaje integral de camote y se utilizaron precios locales de mercado para los otros ingredientes de la ración (0.504, 0.520, 0.250, 0.710, 0.420, 0.060 y 4.00 \$ kg⁻¹ MS para maíz molido, torta de soya, torta de coquito, sal mineralizada, urea, heno de Swazi y lasalócido sódico, respectivamente). El costo de producción del ensilaje integral de camote se obtuvo sobre la base de registros de gastos, rendimientos agronómicos de biomasa y estimación del ensilaje útil (ensilaje visualmente apto para el consumo) ofrecido al animal.

Análisis estadístico. Cada variable independiente se sometió a análisis previo de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (López *et al.* 2000) y posteriormente, a un análisis de covarianza con el peso vivo inicial correspondiente a cada período experimental como covariable. Cuando hubo diferencias ($P < 0.050$), se utilizó la dócima de comparación de medias de Tukey (Steel y Torrie 1980).

Resultados y Discusión

El rendimiento agronómico del tubérculo, follaje y material integral (tubérculo-follaje) del camote fue de 32.5, 27.5 y 60.0 t fresca/ha, con un contenido de MS de 31.3, 14.5 y 25.7 %, respectivamente. Este último se incrementó después del pre-secado a 33.0, 32.2 y 32.6 %, respectivamente. Para un buen ensilado, Demanet (2011) recomienda un contenido de MS del material a ensilar entre 28.0 y 35.0 %, ya que a nivel mayor de 25.0 % se reduce la pérdida por efluentes. El ensilaje integral de camote presentó pH de 3.67 (± 0.205), color chocolate claro y contenido adecuado de MS (34.98 %), pero bajo contenido de PB (4.8 %, en base seca), a pesar de que la relación tubérculo/follaje del material cosechado fue de 2.0/1.0, en base seca, y que usualmente el contenido de PB de estos componentes es aproximado a 4.9 (Gómez 2003) y 12.0 % (Backer 1976) en base seca, respectivamente. Sin embargo, en este estudio se observó pérdida de hojas del follaje durante el pre-secado. Se conoce que ocurren pérdidas de N y otros nutrientes

silage, with tuber / foliage ratios between 50:50 and 75:25 on dry basis.

The LWG was not affected by the interaction SL * EP ($P \geq 0.769$), SL ($P \geq 0.451$) and EP ($P \geq 0.762$). The obtained LWG (table 2) were similar to those reported by other authors (Arelovich *et al.* 2012 and Vittone *et al.* 2015), with high maize grain rations.

The interaction SL * EP ($P > 0.4234$) and SL ($P > 0.1349$) did not affect the DMI. However, this showed a tendency to decrease when increasing the silage level in the ration, due to the increase in the rejection

en el proceso fermentativo, además de efluentes del ensilado (Reyes *et al.* 2009 y Guerrero-López 2013). Con la utilización de la técnica de micro ensilaje, Alvarado-Villalobos (2015) informó pH promedio de 4.0 y PC de 8.3 % para ensilajes de camote integral, con relaciones tubérculo/follaje entre 50:50 y 75:25 en base seca.

La GPV no se afectó por la interacción NE*PER ($P \geq 0.769$), NE ($P \geq 0.451$) y PER ($P \geq 0.762$). Las GPV obtenidas (tabla 2) fueron similares a las informadas por otros autores (Arelovich *et al.* 2012 y Vittone *et al.* 2015), con raciones altas en grano de maíz.

Table 2. Live weight gain and dry matter intake

Indicators	Substitution level of maize grain by integral sweet potato silage, % dry basis				SE
	T0	T33	T75	T100	
Live weight gain, kg animal ⁻¹ d ⁻¹	1.467	1.351	1.430	1.345	0.127
DM intake, kg/100 kg live weight ⁻¹ d ⁻¹	2.70 ^a	2.62 ^a	2.60 ^a	2.28 ^b	0.263*

^{abc} Different letters indicate significance differences ($P < 0.05$)

* $P > 0.1349$

of this forage. This rejection was constituted by the foliage fraction, especially by the stem component. The DMI of T100 was lower than the rest of the treatments (table 2), which, on average, represented 13.2 %. The EP affected the DMI ($P < 0.0001$), with higher intake in period 2 (2.45 and 2.64 kg DM/100 kg live weight/d for the EP 1 and 2, respectively). López *et al.* (2009) showed that the silages can reduce the intake up to 30.0 - 40.0 %, which is related to the pH, organic acid concentration and DM content of the ensiled forage. In addition, in Morales (2013) studies it was confirmed that the NDF content also exerts a negative effect on intake. In this research, the NDF content of the rations increased from 32.3 (T0) to 41.6 % (T100) (table 1).

To achieve iso-energetic diets, increasing levels of coquito cake were included (table 1). From an average fat content for coquito cake of 10.55 (8.0 and 13.1) % on dry basis (Vargas and Zumbado 2003 and FEDNA 2015), fat intake was estimated at the DM intake of 0.0, 0.53, 0.73 and 1.27% for T0, T33, T75 and T100, respectively, levels that were much lower than 4.0 - 5.0 % informed by Martínez *et al.* (2011), reported without negative effects on ruminal digestion of fiber and DMI. However, the African palm fruit and its industrial by-products contain unsaturated fatty acids, especially oleic (Vargas and Zumbado 2003), which can decrease the NDF digestion (Hristov *et al.* 2005 and Martin *et al.* 2015). In this study, this unsaturated fat could contribute to reduce the DMI, mainly in treatments with higher levels of coquito cake.

Silage intake (kg/100 kg of live weight⁻¹ d⁻¹) was 0.00, 0.45, 1.48 and 1.52, which contributed 0.0, 17.2, 56.9 and 66.7 % to the DMI of T0, T33, T75 and T100, respectively. The tuber intake of 0.00,

La interacción NE*PER ($P > 0.4234$) y NE ($P > 0.1349$) no afectó el CMS. Sin embargo, este presentó tendencia a disminuir al incrementarse el nivel de ensilaje en la ración, producto del aumento en el rechazo de este forraje. Este rechazo estuvo constituido por la fracción follaje, en especial por el componente tallo. El CMS de T100 fue menor con respecto al resto de los tratamientos (tabla 2), diferencia que, como promedio, representó 13.2 %. El PER afectó el CMS ($P < 0.0001$), con mayor consumo en el período 2 (2.45 y 2.64 kg MS/100 kg de peso vivo/d para el PER 1 y 2, respectivamente). López *et al.* (2009) indicaron que los ensilajes pueden reducir el consumo hasta 30.0 - 40.0 %, lo que guarda relación con el pH, concentración de ácidos orgánicos y contenido de MS del forraje ensilado. Además, en estudios de Morales (2013) se confirmó que el contenido de FDN también ejerce efecto negativo en el consumo. En esta investigación, el contenido de FDN de las raciones aumentó de 32.3 (T0) hasta 41.6 % (T100) (tabla 1).

Para lograr dietas iso-energéticas, se incluyeron niveles crecientes de torta de coquito (tabla 1). A partir de un contenido promedio de grasa para la torta de coquito de 10.55 (8.0 y 13.1) % en base seca (Vargas y Zumbado 2003 y FEDNA 2015), se estimó aporte en grasa a la MS consumida de 0.0, 0.53, 0.73 y 1.27 % para T0, T33, T75 y T100, respectivamente, niveles que resultaron muy inferiores al 4.0 - 5.0 % informado por Martínez *et al.* (2011), sin efectos negativos en la digestión ruminal de la fibra y CMS. Sin embargo, el fruto de la palma africana y sus sub-productos industriales contienen ácidos grasos insaturados, en especial el oleico (Vargas y Zumbado 2003), que pueden disminuir la digestión de FDN (Hristov *et al.* 2005 y Martin *et al.* 2015). En este estudio, la grasa insaturada pudo contribuir a reducir

0.35, 1.10 and 1.35 kg DM 100 kg live weight⁻¹/d⁻¹ for T0, T33, T75 and T100, respectively was estimated from the tuber / foliage ratio of the ensiled material (2: 1 on dry basis). Considering an average starch content of 71.5% for sweet potato tuber and 73.4% for maize grain (FEDNA 2015), the main starch sources of the rations, practically the same intake of starch was obtained between treatments (0.95, 0.87, 1.02 and 0.97 kg 100 kg live weight⁻¹/d⁻¹ for T0, T33, T75 and T100, respectively).

The CPI was affected by SL * EP (P < 0.029), with a tendency to decrease as the silage level increased in the ration (table 3). This effect could be due to a similar DMI performance (table 2) and their CP content (12.65, 12.15, 11.55 and 11.45 % for T0, T33, T75 and T100, respectively), as well as the difference in CP content of the silage offered between experimental periods (4.2 and 5.5 % on dry basis, for the first and second period, respectively).

Certain environmental factors could also influence on this effect, since the period of the study involved part of the dry and rainy period. This CP difference in the offered silage could be due to differences in the leaves ratio. The CPI were higher than recommended by NRC (1996) (0.265/100 kg live weight/d⁻¹) for animals of similar live weight and weight gain. Metabolically, the removal of excess nitrogen represents energy input for the animal (Di Marco 2006). However, the LWG was not affected by SL, despite differences in CPI and non-protein nitrogen (NPN) levels from urea, which increased from 17.3 (T0) to 28.1 % (T100) of ingested N. This situation could imply differences in the by-pass protein and the synthesis of microbial protein.

For the ADDM, the SL* EP interaction was not significant (P ≥ 0.560), contrary to the effects of SL (P < 0.012) and EP (P < 0.001). T0 showed higher ADDM than treatments with silage (P ≤ 0.050 (table

el CMS, principalmente en los tratamientos con los mayores niveles de torta de coquito.

El consumo de ensilaje (kg/100 kg de peso vivo⁻¹ d⁻¹) fue de 0.00, 0.45, 1.48 y 1.52, que aportó 0.0, 17.2, 56.9 y 66.7 % al CMS del T0, T33, T75 y T100, respectivamente. A partir de la relación tubérculo/follaje del material ensilado (2:1 en base seca), se estimó el consumo de tubérculo de 0.00, 0.35, 1.10 y 1.35 kg MS 100 kg de peso vivo⁻¹/d⁻¹ para T0, T33, T75 y T100, respectivamente. Al considerar un contenido promedio de almidón de 71.5 % para el tubérculo de camote y 73.4 % para el grano de maíz (FEDNA 2015), principales fuentes de almidón de las raciones, se obtuvo prácticamente el mismo consumo de almidón entre tratamientos (0.95, 0.87, 1.02 y 0.97 kg 100 kg de peso vivo⁻¹/d⁻¹ para T0, T33, T75 y T100, respectivamente).

El CPB se afectó por NE*PER (P < 0.029), con tendencia a disminuir a medida que aumentó el nivel de ensilaje en la ración (tabla 3), efecto que se pudo deber a un comportamiento similar del CMS (tabla 2) y su contenido de PB (12.65, 12.15, 11.55 y 11.45 % para T0, T33, T75 y T100, respectivamente), así como a la diferencia en el contenido de PB del ensilaje ofrecido entre períodos experimentales (4.2 y 5.5 % en base seca, para el primer y segundo período, respectivamente). También pudieron influir en este efecto determinados factores ambientales, ya que el período de realización del estudio involucró parte del período seco y lluvioso. Esta diferencia de PB en el ensilaje ofrecido se pudo deber a diferencias en la proporción hojas. Los CPB fueron superiores a lo recomendado por la NRC (1996) (0.265/100 kg de peso vivo/d⁻¹) para animales de similar peso vivo y ganancia de peso. Metabólicamente, la eliminación del exceso de nitrógeno representa gasto energético para el animal (Di Marco 2006). Sin embargo, la GPV no se afectó por NE, a pesar de las diferencias en CPB y nivel de nitrógeno no proteico (NNP) aportado por la urea, que aumentó de 17.3 (T0) a 28.1 % (T100) del N ingerido. Esta situación pudo implicar diferencias en la

Table 3. Crude protein intake kg 100 kg live weight⁻¹/d⁻¹

	Substitution level of maize grain by integral sweet potato silage, % dry basis				SE±
	T0	T33	T75	T100	
EP 1	0.34 ^{cd}	0.32 ^{bcd}	0.29 ^{ab}	0.28 ^a	0.01*
EP 2	0.35 ^d	0.33 ^{cd}	0.33 ^{cd}	0.31 ^{abc}	

^{abcd} Different letters indicate significance differences (P < 0.05)

*P < 0.029.

4), which is attributed to lower ADF content in the DM intake, fraction related to digestibility, of the lignin component mainly (Bach and Calsamiglia 2006 and Anzola 2007). The rations showed ADF contents of 16.8, 18.1, 18.0 and 19.5 % for T0, T33, T75 and T100, respectively. T0 showed ADDM very similar to that reported by Arelovich *et al.* (2012), with rations based on ground maize grain and grass and alfalfa hay.

proteína sobrepasante y la síntesis de proteína microbiana.

Para la DAMS, la interacción NE*PER no resultó significativa (P ≥ 0.560), contrario a los efectos de NE (P < 0.012) y PER (P < 0.001). T0 presentó mayor DAMS que los tratamientos con ensilaje (P ≤ 0.050 (tabla 4), lo que se atribuye a menor contenido de FDA en la MS consumida, fracción relacionada con la digestibilidad, principalmente del componente lignina

The ADDM resulted with values of 73.17 and 69.72% for the experimental period 1 and 2, which is related to the ADF content in the DM intake, which was 16.7 and 19.9 %, respectively.

The values obtained for the DNI and DEI are showed in table 4. These decreased as the substitution of maize by integral sweet potato silage increased, regardless of the EP. The MEI was not affected by SL* EP ($P \geq 0.760$) and EP ($P \geq 0.650$), whereas

(Bach y Calsamiglia 2006 y Anzola 2007). Las raciones presentaron contenido de FDA de 16.8, 18.1, 18.0 y 19.5 % para T0, T33, T75 y T100, respectivamente. T0 presentó DAMS muy similar a la informada por Arelovich *et al.* (2012), con raciones basadas en grano de maíz molido y henos de gramínea y alfalfa. La DAMS resultó con valores de 73.17 y 69.72 % para el período experimental 1 y 2, lo que se relaciona con el contenido FDA en la MS consumida, que fue de 16.7 y 19.9 %, respectivamente.

Table 4. Apparent digestibility of the dry matter, digestible nutrients intake and energy parameters per treatment

Parameters	Substitution level of the maize grain by integral sweet potato silage, % dry basis				SE±
	T0	T33	T75	T100	
Apparent digestibility of the dry matter, %	74.92 ^a	69.83 ^b	70.67 ^b	70.36 ^b	5.06
Digestible nutrients intake, kg/100 kg live weight /d	2.02 ^a	1.83 ^b	1.76 ^b	1.62 ^c	0.23
Digestible energy intake, MJ/100 kg live weight /d	37.20 ^a	33.68 ^b	32.47 ^b	29.75 ^c	0.86
Metabolizable energy intake, MJ/100 kg live weight /d	30.50 ^a	27.61 ^b	26.62 ^b	24.40 ^c	4.11
ME concentration in the intake DM, MJ - kg ⁻¹	11.28	10.52	10.27	10.69	0.49

^{abc} Different letters indicate significance differences ($P < 0.050$)

with SL decreased ($P \leq 0.090$). With respect to T0, the MEI of T33, T75 and T100 decreased 9.5, 11.7 and 19.9 %, respectively, result of lower DMI and ADDM, but this was not reflected in the LWG. With T0, the LWG corresponded to its MEI, but not in silage treatments, which achieved LWG higher than those corresponding to its MEI (NRC 1996), especially T100. An explanation of these results can be substantiated in the reports of Li *et al.* (2014), who found that the silage process decreased the ruminal degradability of DM and starch of sweet potato and potato tubers (*Solanum tuberosum*). They can also be explained by the Quezada results (2001), who obtained low ruminal degradability for DM of the ensiled sweet potato tuber, 43.4 and 66.8 % at 24 and 72 h of incubation, respectively. On the other hand, rumen degradability of 80 to 90 % has been reported for the dry matter and starch of ground maize grain (Alomar and Pulido 2001, Menchón 2004 and Calsamiglia 2014).

From these results, it can be inferred that in this study much of the starch of the intake tuber could reach the small intestine, where it was absorbed as glucose, which improved its energy use. With direct infusions of starch in the rumen and abomasum, McLeod *et al.* (2006) obtained higher partial efficiency of starch use abomasum way. Owens *et al.* (1986) estimated a 42 % increase in the efficiency of intestinal starch use with respect to its use in the

Los valores obtenidos para el CND y CED se presentan en la tabla 4. Estos disminuyeron a medida que aumentó la sustitución del maíz por ensilaje integral de camote, independientemente del PER. El CEM no resultó afectado por NE*PER ($P \geq 0.760$) y PER ($P \geq 0.650$), en cambio con NE disminuyó ($P \leq 0.090$). Con respecto a T0, el CEM de T33, T75 y T100 disminuyó 9.5, 11.7 y 19.9 %, respectivamente, producto de menores CMS y DAMS, pero esto no se reflejó en la GPV. Con T0, la GPV correspondió con su CEM, no así en los tratamientos con ensilaje, que lograron GPV mayores a las que corresponden a sus CEM (NRC 1996), en especial T100. Una explicación de estos resultados se puede sustentar en el informe de Li *et al.* (2014), quienes encontraron que el proceso de ensilaje disminuyó la degradabilidad ruminal de la MS y almidón de tubérculos de camote y papa (*Solanum tuberosum*). También se pueden explicar por los resultados de Quezada (2001), quien obtuvo bajas degradabilidades ruminales para la MS del tubérculo de camote ensilado, 43.4 y 66.8 % a las 24 y 72 h de incubación, respectivamente. En cambio, para la materia seca y almidón del grano de maíz molido se han informado degradabilidades ruminales de 80 a 90 % (Alomar y Pulido 2001, Menchón 2004 y Calsamiglia 2014).

A partir de estos resultados, se puede inferir que en este estudio gran parte del almidón del tubérculo consumido pudo llegar al intestino delgado, donde se absorbió como glucosa, lo que mejoró su utilización energética. Con infusiones directas de almidón en el rumen y abomaso,

rumen, since glucose has a higher efficiency of use at tissue level than ruminant fatty acids (Relling and Mattioli 2003). In the case of rations with sweet potato tubers, a low level of ruminal degradability of starch may not affect microbial activity, since starch has relatively high sugar content (7.50 %, FEDNA 2015) of easy use by microorganisms.

The concentration of ME in the dry matter intake (table 3) showed values similar to those formulated for the respective diets [10.69 (\pm 0.372) MJ/kg of DM], which show that the ADDM allowed good estimation of the ME parameters. Based on the results of T33 and T75, which showed low food rejection (2.80 and 6.50 %, respectively), a value for the ME of the integral sweet potato silage of 10.40 MJ/kg DM was estimated, which is very similar to that reported for silage of good nutritional quality, such as maize, with 10.62 (\pm 0.197) MJ/kg DM (NRC 1996).

The FCE was only affected by the EP ($P < 0.010$), with a lower conversion in the second period (5.22 and 6.26 kg DM intake/kg live weight increase), product of higher DMI.

The average FCE was 5.74 kg DM intake/kg live weight increase, which corresponds to the values reported by Arelovich *et al.* (2012) in diets based on maize grain. The CECP and CEME resulted in average values of 0.732 kg and 15.13 MJ/kg of live weight increase, respectively.

The production cost of the silage useful for the animal was \$ 0.052 / kg fresh (\$ 0.159/kg DM, \$: US dollar) and the market price of the ground maize grain was \$ 0.540/kg fresh (0.614/kg DM). The feeding cost FC was affected by SL ($P < 0.0001$) and EP ($P < 0.0001$), but not by SL * EP ($P \geq 0.450$). The SL linearly affected the FC (figure 1). When comparing T0 with the rations based on integral sweet potato silage, there was a decrease of 15.1, 34.4 and 46.0 % in the FC for T33, T75 and T100, respectively. Based on live weight gain, feeding cost decreased as SL increased, with values of \$ 2.08, 1.92, 1.40 and 1.23/kg of weight increase for T0, T33, T75 and T100,

McLeod *et al.* (2006) obtuvieron mayor eficiencia parcial de utilización del almidón vía abomaso. Owens *et al.* (1986) estimaron en 42 % el aumento en la eficiencia de utilización del almidón a nivel intestinal con respecto a su utilización en el rumen, ya que la glucosa tiene mayor eficiencia de utilización a nivel tisular que los ácidos grasos ruminales (Relling y Mattioli 2003). En el caso de raciones con tubérculos de camote, puede ser que un nivel bajo de degradabilidad ruminal del almidón no afecte la actividad microbiana, ya que el almidón presenta contenido relativamente alto de azúcares (7.50 %, FEDNA 2015) de fácil utilización por los microorganismos.

La concentración de EM en la materia seca consumida (tabla 3) presentó valores similares a los formulados para las respectivas dietas [10.69 (\pm 0.372) MJ/kg de MS], lo que indica que la DAMS permitió buena estimación de los parámetros de EM. Sobre la base de los resultados de T33 y T75, que presentaron bajo rechazo de alimento (2.80 y 6.50 %, respectivamente), se estimó un valor para la EM del ensilaje integral de camote de 10.40 MJ/kg MS, que es muy similar al informado para ensilajes de buena calidad nutritiva, como el del maíz, con 10.62 (\pm 0.197) MJ/kg MS (NRC 1996).

La ECA solo resultó afectada por el PER ($P < 0.010$), con menor conversión en el segundo período (5.22 y 6.26 kg MS consumida/kg de aumento de peso vivo), producto de mayor CMS. La ECA promedio fue 5.74 kg MS consumida/kg de aumento de peso vivo, lo que se corresponde con los valores informados por Arelovich *et al.* (2012) en dietas basadas en grano de maíz. La ECPB y ECEM resultaron con valores promedios de 0.732 kg y 15.13 MJ/kg de aumento de peso vivo, respectivamente.

El costo de producción del ensilaje útil para el animal fue de \$0.052/kg fresco (\$0.159/kg MS, \$: dolar americano) y el precio de mercado del grano de maíz molido fue de \$0.540/kg fresco (0.614/kg MS). El costo de alimentación CAL resultó afectado por NE ($P < 0.0001$) y PER ($P < 0.0001$), no así por NE*PER ($P \geq 0.450$). El NE afectó linealmente el CAL (figura 1). Al comparar T0 con las raciones basadas en ensilaje integral de camote, se observó disminución de 15.1, 34.4 y

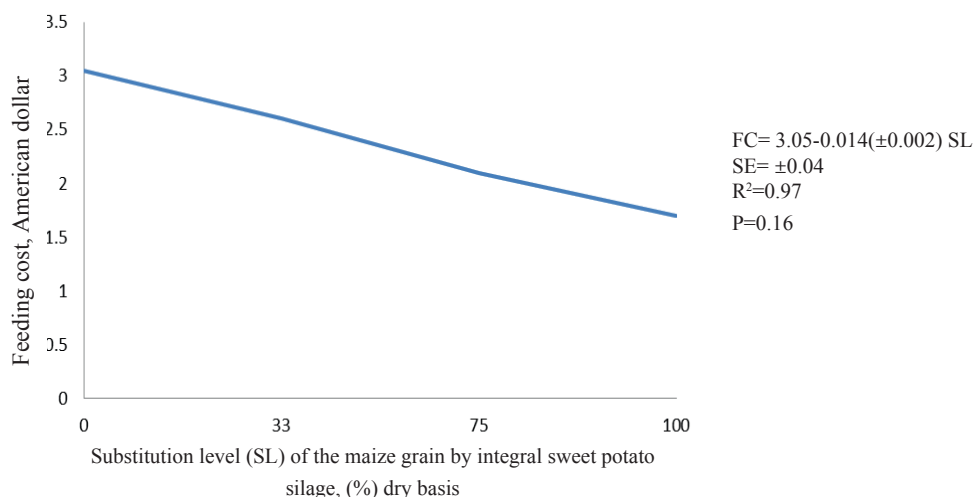


Figure 1. Effect of the substitution of maize by integral sweet potato silage on feeding cost

respectively.

It is concluded that the integral sweet potato silage did not affect the live weight gain nor feed conversion, which nutritionally makes viable its use in the substitution of maize grain in diets for growing cattle. To maximize the economic response, it is recommended a substitution level of 100 % of the maize grain by integral sweet potato silage.

Acknowledgments

Thanks to the Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT, Panamá) for the financial support to carry out this research. In addition, gratitude is expressed to the Facultad de Ciencias Agropecuarias y Vice-Rectoría de Investigación y Post-grado de la Universidad de Panamá for the technical, financial and logistic support to carry out this research.

Cuban Journal of Agricultural Science, Volume 51, Number 1, 2017.

46.0 % en el CAL para T33, T75 y T100, respectivamente. Sobre la base de la ganancia de peso vivo, el costo de alimentación disminuyó en la medida que se incrementó NE, con valores de \$2.08, 1.92, 1.40 y 1.23/kg de aumento de peso para T0, T33, T75 y T100, respectivamente. Con respecto a T0, el costo de alimentación por kilogramo de aumento de peso vivo disminuyó 7.7, 32.7 y 40.7 % para T33, T75 y T100, respectivamente.

Se concluye que el ensilaje integral de camote no afectó la ganancia de peso vivo ni conversión alimentaria, lo que nutricionalmente hace viable su utilización en la sustitución del grano de maíz en dietas para bovinos en crecimiento. Para maximizar la respuesta económica, se recomienda nivel de sustitución de 100 % del grano de maíz por ensilaje integral de camote.

Agradecimientos

Se agradece a la Secretaria Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SENACYT, Panamá) por el apoyo financiero para la realización de esta investigación. Se expresa además gratitud a la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Vice-Rectoría de Investigación y Post-grado de la Universidad de Panamá por la ayuda técnica, financiera y logística para la realización de esta investigación.

References

- Alomar, D. & Pulido, R. 2001. "Efecto del hojuelado al vapor sobre la degradabilidad ruminal del grano de maíz". *Agro Sur*, 29(2): 164–169, ISSN: 0304-8802.
- Alvarado-Villalobos, E. J. 2015. Evaluación del valor nutricional del ensilaje de residuos de la cosecha de camote (*Ipomoea batatas* (L)). Graduated Thesis, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 50 p., Available: <<http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6468>>, [Consulted: April 23, 2017].
- Anzola, D. J. C. 2007. "Experiencias en el uso de forrajes de calidad en un sistema intensivo de producción lechera". In: IX seminario Manejo y utilización de pastos y forrajes en Sistemas de Producción Animal, Lara, Venezuela: Universidad pedagógica Experimental Libertador (UPEL), pp. 100–104, Available: <http://www.avpa.ula.ve/eventos/ix_seminario_pastosyforraje/TiraPresentacion.htm>, [Consulted: April 23, 2017].
- Arelovich, H., Bravo, R. & Martínez, M. 2012. "Recría de bovinos de carne con dietas basadas en granos de maíz o avena pelletizados". *Revista Argentina de Producción Animal*, 32(2): 125–134, ISSN: 0326-0550.
- Bach, A. & Calsamiglia, S. 2006. "La fibra en los rumiantes: ¿química o física?". In: XXII curso de especialización FEDNA, Barcelona, España: Universidad Autónoma de Barcelona, pp. 99–113, Available: <http://produccionbovina.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/100-fibra_en_rumiantes.pdf>, [Consulted: April 24, 2017].
- Backer, J. 1976. Utilización integral del camote (*Ipomoea batatas* (L) Lam) en la producción de carne. M.Sc. Thesis, Universidad de Costa Rica, Turrialba, Costa Rica, 72 p., Available: <<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2548e/A2548e.pdf>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Backer, J., Ruiz, M. E., Muñoz, H. & Pinchinat, A. M. 1980. "The use of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) in animal feeding: II beef production". *Tropical Animal Production*, 5(2): 152–160, ISSN: 0250-5576.
- Calsamiglia, S. 2014. "Estrategias de formulación en vacas lecheras de alta producción". In: XXX Curso de especialización FEDNA, Madrid, España: Universidad Autónoma de Barcelona, pp. 3–17, Available: <http://www.produccionbovina.com.ar/tablas_composicion_alimentos/124-2014_CAP_I.pdf>, [Consulted: April 24, 2017].
- Cochran, R. C., Adams, D. C., Wallace, J. D. & Galyean, M. L. 1986. "Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four potential markers". *Journal of Animal Science*, 63(5): 1476–1483, ISSN: 0021-8812, 1525-3163.
- Demagnet, R. F. 2011. Conceptos básicos en la elaboración de ensilajes. Chile: Universidad de la Frontera, Available: <http://praderasypasturas.com/files/menu/catedras/produccion_de_leche/2011/05_Elaboracion_de_Ensilaje.pdf>, [Consulted: April 24, 2017].
- Di Marco, O. N. 2006. "Eficiencia de utilización del alimento en vacunos". *Revista Visión Rural*, 13(61), Available: <http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/manejo_del_alimento/89-eficiencia_utilizacion_alimento.pdf>, [Consulted: April 24, 2017].
- FEDNA. 2015. Torta de presión de palmiste. Available: <<http://www.fundacionfedna.org/node/439>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Goering, H. & Van Soest, P. 1970. Forage Fiber Analysis. Washington: USDA, 20 p.

- Gómez, C. 2003. "Producción y valor nutricional de follaje y raíces de camote para la alimentación de rumiantes". In: Estrategias para el uso del camote en la alimentación humana y animal, Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP), Convenio CIP-IICA ATN/SF-6486-RG, Available: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QP2007000006>>, [Consulted: April 24, 2017].
- González-Araujo, C. & Tepper, R. 2003. "Resultados sobre el uso del camote (*Ipomoea batatas*, L.) en la alimentación animal y procesamiento industrial en Venezuela". In: Estrategias para el uso del camote en la alimentación humana y animal, Lima, Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP), Convenio CIP-IICA ATN/SF-6486-RG, Available: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QP2007000006>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Guerrero-López, J. P. 2013. Comunidades bacterianas en ensilajes de forrajes tropicales (*Vigna unguiculata*, *Canavalia brasiliensis*) y batata (*Ipomoea batata*) y sus mezclas y su relación con la calidad y la digestibilidad enzimática *in vitro* en cerdos. M.Sc. Thesis, Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia, 92 p., Available: <<http://www.bdigital.unal.edu.co/12688/>>, [Consulted: May 4, 2017].
- Hristov, A. N., Kennington, L. R., McGuire, M. A. & Hunt, C. W. 2005. "Effect of diets containing linoleic acid- or oleic acid-rich oils on ruminal fermentation and nutrient digestibility, and performance and fatty acid composition of adipose and muscle tissues of finishing cattle". *Journal of Animal Science*, 83(6): 1312–1321, ISSN: 1525-3163, DOI: 10.2527/2005.8361312x.
- Lapage, G. 1956. *Veterinary Parasitology*. Edinburgh: Oliver & Boyd, 964 p.
- Lascano, C., Borel, R., Quiroz, R., Zorrilla, J., Chaves, C. & Wernli, C. 1990. "Recomendaciones sobre metodología para la medición de consumo y digestibilidad *in vivo*". In: Ruiz, M. E. & Ruiz, A. (eds.), *Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación*, San José: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - Red de Investigación en Sistemas de Producción Animal en Latinoamérica, pp. 159–168, ISBN: 978-92-9039-162-3.
- Latimer, G. W. 2016. *Official methods of analysis of AOAC International*. 20th ed., Rockville, MD: AOAC International, ISBN: 978-0-935584-87-5, Available: <<http://www.directtextbook.com/isbn/9780935584875>>, [Consulted: September 22, 2016].
- Li, J., Li, Q., Gao, Y., Cao, Y., Li, J. & Li, Y. 2014. "Effect of Ensilage on Degradability of Dry Matter and Starch in Rumen about Potato Residues and Sweet Potato Residues". *China Animal Husbandry & Veterinary Medicine*, 41(6): 89–93, ISSN: 1671-7236.
- López, G., Pérez, J. & Kleinn, C. 2000. *SAS: aplicaciones en el campo agropecuario y de los recursos naturales: versión 1.0*. Turrialba: CATIE, 127 p.
- López, P., Baldini, Y. & López, J. 2009. "Consumo voluntario de bovinos". *REDVET: Revista Electrónica de Veterinaria*, 10(10), ISSN: 1695-7504, Available: <<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n101009/100918.pdf>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Martin, C., Rouel, J., Jouany, J. P., Doreau, M. & Chilliard, Y. 2015. "Methane output and diet digestibility in response to feeding dairy cows crude linseed, extruded linseed, or linseed oil". *Journal of Animal Science*, 86(10): 2642–2650, ISSN: 1525-3163, DOI: 10.2527/jas.2007-0774.
- Martínez, A. L., Pérez, M., Pérez, L. M., Gómez, A. G. & Carrión, D. 2011. "Efecto de las fuentes de grasa sobre la digestión de la fibra en los rumiantes". *REDVET: Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(7), ISSN: 1695-7504, Available: <<http://helvia.uco.es/xmlui/handle/10396/8391>>, [Consulted: April 24, 2017].
- McLeod, K. R., Baldwin, R. L., El-Kadi, S. W. & Harmon, D. L. 2006. "Site of starch digestion: Impact on energetic efficiency and glucose metabolism in beef and dairy cattle". In: *Cattle Grain Processing Symposium*, Stillwater, OK: Oklahoma State University, pp. 129–136, Available: <http://www.beefextension.com/proceedings/cattle_grains06/06-18.pdf>, [Consulted: April 24, 2017].
- Menchón, P. 2004. Consumo y digestión de dietas basadas en grano de maíz flint o dentado ofrecidos enteros o molidos en vacunos. Graduated Thesis, Universidad Nacional de Mar del Plata, Mar del Plata, Argentina, Available: <<https://www.researchgate.net/publication/308786911>>, [Consulted: February 24, 2017].
- Morales, M. O. I. 2013. Variación en el consumo de FDN en vacas lactando en el trópico. Graduated Thesis, Universidad Veracruzana, México, 66 p., Available: <<https://core.ac.uk/download/pdf/18136596.pdf>>, [Consulted: April 24, 2017].
- National Research Council (NRC) 1984. *Nutrient requirements of beef cattle*. (ser. Nutrient requirements of domestic animals), Washington, D.C.: National Academy Press, 90 p., ISBN: 978-0-309-03447-0.
- National Research Council (NRC) 1996. *Nutrient requirements of beef cattle*. (ser. Nutrient requirements of domestic animals), Washington, D.C.: National Academy Press, 232 p., ISBN: 978-0-309-05426-3, Available: <<http://site.ebrary.com/id/10495418>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Nousiainen, J., Ahvenjärvi, S., Rinne, M., Hellämäki, M. & Huhtanen, P. 2004. "Prediction of indigestible cell wall fraction of grass silage by near infrared reflectance spectroscopy". *Animal Feed Science and Technology*, 115(3): 295–311, ISSN: 0377-8401, DOI: 10.1016/j.anifeeds.2004.03.004.
- Owens, F. N., Zinn, R. A. & Kim, Y. K. 1986. "Limits to Starch Digestion in the Ruminant Small Intestine". *Journal of Animal Science*, 63(5): 1634–1648, ISSN: 0021-8812, DOI: 10.2527/jas1986.6351634x.
- Quezada, E. 2001. Evaluación nutricional del ensilado de follaje y raíces de camote (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) en la alimentación de vacas lecheras. M.Sc. Thesis, UNALM, Lima, Perú, 98 p.
- Relling, A. E. & Mattioli, G. A. 2003. *Fisiología Digestiva y Metabólica de los Rumiantes*. EDULP, 72 p., Available: <<http://ecaths1.s3.amazonaws.com/cerealicultura/1338101883.FISIOLOG%20DIGESTIVA%20RUMIANTES.pdf>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Rendon, M. E., Noguera, R. R. & Posada, S. L. 2013. "Cinética de degradación ruminal del ensilaje de maíz con diferentes niveles de inclusión de vinaza". *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 8(2): 42–51, ISSN: 1900-9607, DOI: 10.21615/2737.
- Reyes, N., Mendieta, B., Fariñas, T., Mena, M., Cardona, J. & Pezo, D. 2009. Elaboración y utilización de ensilajes en la

- alimentación del ganado bovino. (ser. Técnica, no. ser. 91), Managua, Nicaragua: CATIE, 100 p.
- Ruíz, E., Aguilera, V. & Batista, A. 2009. Manual técnico para el cultivo de camote (*Ipomoea batatas* L). Panamá: IDIAP, 23 p.
- Ruiz, M. E., Lozano, E. & Ruiz, A. 1981. "Utilization of sweet potatoes (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) in animal feeding. III. Addition of various levels of roots and urea to sweet potato forage silages". *Tropical Animal Production*, 6(3): 234–244, ISSN: 0250-5576.
- Sánchez, H. 1996. Valor nutricional del ensilaje de raíces no comerciales y follaje de camote. M.Sc. Thesis, UNALM, Lima, Perú, 84 p.
- Steel, R. G. D. & Torrie, J. H. 1980. Principles and procedures of statistics: a biometrical approach. 2nd ed., New York: McGraw-Hill, 633 p., ISBN: 978-0-07-060926-6.
- Tanabe, S. 2000. Technical manual for feed analysis. Tokyo, Japan: Japan Livestock Technology Association, Available: <<http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=XF2015026578>>, [Consulted: April 24, 2017].
- Vargas, E. & Zumbado, M. 2003. "Composición de los subproductos de la industrialización de la palma africana utilizados en la alimentación animal en Costa Rica". *Agronomía Costarricense*, 27(1): 7–18, ISSN: 0377-9424, 2215-2202.
- Vittone, J. S., Munilla, M. E., Lado, M., Corne, M., Ré, A. E., Biolatto, A. & Galli, I. O. 2015. Experiencias de recría y engorde con raciones secas en autoconsumo. Argentina: INTA, 22 p., Available: <http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/invernada_o_engorde_en_general/128-raciones_secas.pdf>, [Consulted: April 24, 2017].

Received: June 22, 2016